

IMPLEMENTASI *FILTER FINITE IMPULSE RESPONSE* UNTUK MEREDUKSI *NOISE* PADA SUARA MENGGUNAKAN METODE *WINDOWING*

Retno Eka Pertiwi¹, Dr. Ir. Suhartati Agoes, MT²

^{1,2} Teknik Telekomunikasi - Fakultas Teknologi Industri

Universitas Trisakti Jakarta 11440

e-mail: ¹retnoekapertiwi@gmail.com, ²sagoes@trisakti.ac.id

ABSTRAK

Suara merupakan sumber informasi yang dikeluarkan manusia untuk melakukan komunikasi agar sampai ke tujuan dengan jelas dan dapat dimengerti. Namun, dalam prosesnya terdapat beberapa faktor yang dapat merusak kualitas suara, diantaranya *noise*. Salah satu alternatif penyelesaian masalah sinyal suara yang terganggu *noise* adalah dengan merancang sebuah filter digital, yaitu *Finite Impulse Response*. Sinyal masukan berupa rekaman suara pria dan wanita yang disimpan ke dalam format *.wav*. Perancangan simulasi filter FIR dirancang dengan menggunakan *software* Matlab dan diimplementasikan menggunakan DSP TMS320C6713 dengan bantuan *software* CCS. Digunakan tiga buah metode *windowing* dan tanpa *windowing* sebagai pembandingan hasil keluaran suara yang telah melewati filter FIR. Parameter pengukuran terdiri dari MSE, SNR dan PSNR. Dari hasil pengujian diperoleh jika *window Blackman* memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan *window Hanning* dan *Hamming*. Secara keseluruhan dari hasil pengujian diperoleh jika filter FIR *Low-Pass* merupakan filter yang paling baik dari pengujian, karena nilai MSE yang paling kecil serta nilai SNR dan PSNR yang tinggi. Nilai MSE diperoleh 0.0013495 dengan menggunakan *window Blackman* dan *noise* normal. Sedangkan untuk nilai SNR dan PSNR paling baik terdapat pada sampel 5 suara wanita, dimana saat menggunakan *noise* normal dan tanpa metode *windowing* dengan nilai SNR 5.3671 dan nilai PSNR 24.575.

Kata kunci: Suara, *Finite Impulse Response*, *Windowing*, TMS320C6713.

ABSTRACT

Voice is a source of information that people spend to communicate to get to the destination clearly and understandably. However, in the process there are several factors that can damage the voice quality, including *noise*. One alternative solution the *noise* problem is to design a digital filter, the *Finite Impulse Response*. Input signals are male and female voice recordings stored in *.wav* format. The design of FIR filter simulation is designed using Matlab software and implemented using DSP TMS320C6713 with CCS software. Three *windowing* and no *windowing* methods are used as a comparison of the voice output that has passed through the FIR filter. The measurement parameters consist of MSE, SNR and PSNR. From the test results obtained if the *Blackman window* has a better performance than the *window Hanning* and *Hamming*. Overall the test results are obtained if the *Low-Pass FIR filter* is the best filter of the test, because the smallest MSE value and high SNR and PSNR value. MSE value obtained 0.0013495 using *Blackman window* and normal *noise*. As for the SNR and PSNR values is best found in a sample of 5 female voices, which when using normal *noise* and without *windowing* method with SNR 5.3671 and PSNR 24.575 value.

Keywords: Voice, *Finite Impulse Response*, *Windowing*, TMS320C671.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat berbanding lurus dengan pengaruhnya dalam berbagai aspek kehidupan. Salah satunya penggunaan pengolahan sinyal digital terhadap sinyal suara. Dalam sistem komunikasi tidak seluruh sinyal yang dikirim akan diterima dengan baik seluruhnya oleh penerima. Adanya gangguan seperti *noise*, mengakibatkan sinyal suara yang diterima mengalami kecacatan atau bahkan menghilangkan informasi yang dibawa. Oleh karena itu diperlukan pengolahan sinyal suara untuk mereduksi *noise* pada suara.

Filter merupakan rangkaian yang berfungsi untuk melewatkan sinyal frekuensi yang diinginkan dan menahan sinyal frekuensi yang tidak Filter dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu filter analog dan digital. Filter analog dirancang untuk memproses sinyal analog, sedang filter digital memproses sinyal analog dengan menggunakan teknik digital.

Filter digital terbagi menjadi dua, yaitu filter digital *Infinite Impulse Respons* (IIR) dan filter digital *Finite Impulse Respons* (FIR). Pembagian ini berdasarkan *respons impulse* filter tersebut. FIR memiliki respon *impulse* yang panjangnya terbatas. Filter digital FIR terdiri dari tiga jenis, yaitu *lowpass*, *highpass*, dan *bandpass*.

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah filter FIR tiga band yakni, *low pass*, *band pass*, dan *high pass* dengan metode *window Hanning*, *Hamming* dan *Blackman* menggunakan Matlab dan DSP *starter kit* TMS320C6713. Sinyal suara akan menjadi sinyal masukan yang kemudian akan diimplementasikan pada perangkat *starter kit*. Suara yang akan digunakan adalah suara manusia dimana terdiri dari suara wanita dan pria dewasa dimana

suara tersebut telah direkam. Sinyal suara akan mengalami proses perhitungan koefisien filter, ADC, dan filtering. Proses filtering akan dilakukan pada perangkat *starter kit*. Setelah proses filtering, akan menghasilkan sinyal keluaran yang akan dianalisis kualitasnya.

Kriteria baik buruknya sinyal suara hasil proses filtering ditentukan oleh beberapa analisis parameter. Analisis meliputi hasil pengujian nilai amplitudo sinyal hasil filtering nilai MSE, dan nilai PSNR dari sinyal hasil filtering. Sinyal keluaran yang dihasilkan juga akan didengarkan melalui *speaker*.

KAJIAN PUSTAKA

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan pengolahan sinyal suara dengan filter FIR, tetapi baru dilakukan melalui simulasi perangkat lunak menggunakan Matlab seperti pada penelitian [1]. Sedangkan pada penelitian [2], implementasi dan analisis filter digital FIR telah menggunakan perangkat digital *starter kit* namun penelitian tersebut hanya sebatas rancangan filter, belum diaplikasi untuk sinyal suara sebagai sinyal masukkannya. Adapun beberapa penelitian pengolahan sinyal suara menggunakan filter FIR yang telah dimodifikasi menggunakan metode *windowing* dengan harapan akan diperoleh respon *impulse* filter yang ideal tanpa *ripple* yang berlebihan [3][4][5][6].

Pada penelitian [7], implementasi filter FIR juga telah menggunakan perangkat digital *starter kit* dan analisa sudah dapat menghitung nilai Mean Square Error (MSE), namun metode *windowing* yang digunakan hanya sebatas *window Hamming* saja, sehingga tidak dapat membandingkan

unjuk kerjanya dengan metode *windowing* yang lain.

METODE PENELITIAN DAN PERANCANGAN

Perancangan filter FIR digital terdiri dari perancangan *hardware* dan *software* berikut:

A. Spesifikasi Sistem

A.1 Perancangan *hardware*

Pada penelitian ini, uji coba akan dijalankan pada *Personal Computer* (PC) yang akan dihubungkan pada DSK TMS320C6713. Berikut merupakan spesifikasi serta alat penunjang yang digunakan.

1. *Personal Computer* (PC)
2. *Board* DSK TMS320C6713
3. Kabel power perangkat DSK TMS320C6713
4. Kabel USB sebagai penghubung PC dengan *board* DSK TMS320C6713.

A.2 Perancangan *software*

Pada penelitian ini, terdapat beberapa perangkat lunak (*software*) yang digunakan guna menunjang kinerja sistem, antara lain:

1. *Matrix Laboratory* (Matlab)

Matlab adalah salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk membuat model *simulink*. Model *simulink* merupakan fitur yang terdapat pada Matlab untuk mensimulasikan rangkaian sinyal *processing*. Model *simulink* dibuat berupa blok-blok sistem dimana parameter dari blok tersebut diatur sesuai dengan kebutuhan penelitian ini. Adapun versi Matlab yang digunakan harus kompatibel dengan *Code Composer Studio* (CCS) sebagai *software* pendukung lainnya dan juga perangkat DSK TMS320C6713. Pada penelitian ini digunakan Matlab versi 2007a yang kompatibel dengan program

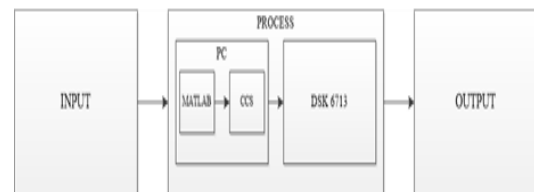
CCS dan DSK TMS320C6713 yang akan digunakan.

2. *Code Composer Studio* (CCS)

Code Composer Studio (CCS) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membantu menerjemahkan suatu bahasa program ke dalam bahasa program yang digunakan pada DSK TMS320C6713. Kegunaan CCS adalah sebagai penghubung antara matlab dengan perangkat DSK TMS320C6713. Adapun versi CCS yang akan digunakan yakni CCS v3.1.

B. Perancangan Diagram Blok Sistem Filter Digital FIRP.

Perancangan blok diagram sistem penelitian ini terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Filter FIR

Sinyal masukan berupa sinyal suara manusia pria dan wanita rentang usia 20-25 tahun. Sinyal suara diambil melalui proses rekaman suara tunggal (bukan rekaman) yang terdiri dari satu kalimat dengan durasi 3-4 detik menggunakan *voice recorder* dan disimpan dengan format .wav. Adapun rekaman suara dilakukan dalam situasi sunyi di dalam ruangan sehingga rekaman suara dapat terdengar jelas. *Noise* yang digunakan merupakan *noise* yang terdapat dalam *library* matlab yang ditambahkan dalam rekaman suara, kemudian akan dibersihkan dengan cara difilter menggunakan filter yang telah dirancang. Pada tahapan proses dilakukan proses ADC, filtering, dan DAC. Ketiga proses tersebut dilakukan pada PC yang telah terpasang perangkat

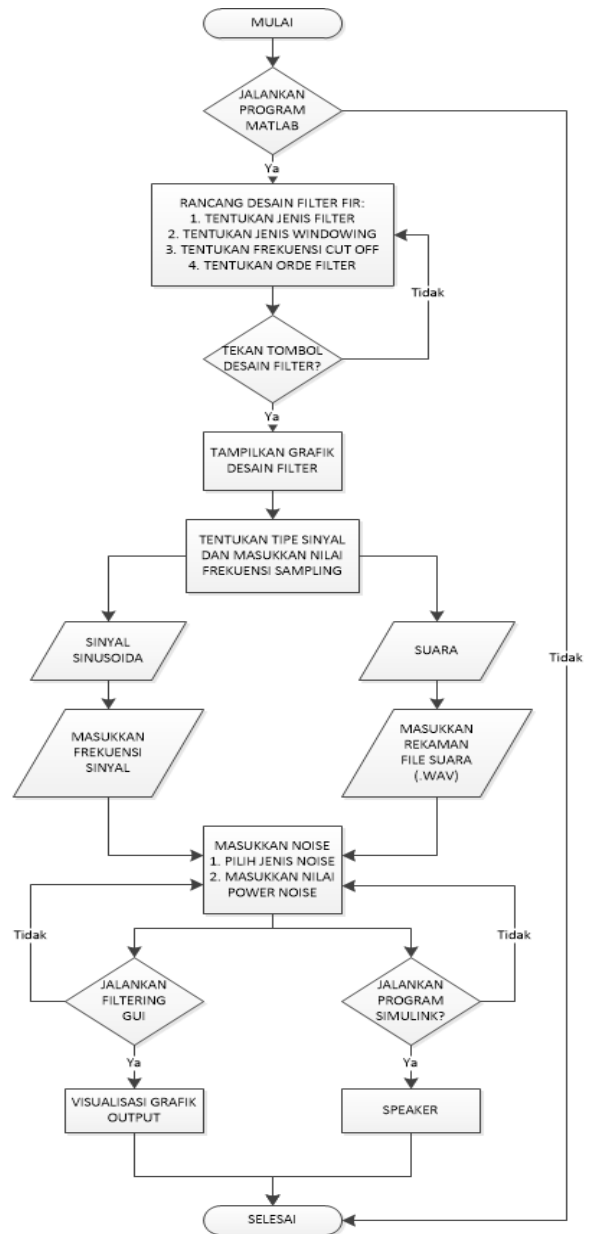
lunak pendukung (Matlab dan CCS) serta perangkat DSK TMS320C6713. Matlab digunakan untuk merancang desain *simulink* dimana didalam model tersebut terdapat blok ADC, blok filter digital dan blok DAC. Sedangkan CCS sendiri digunakan sebagai perantara antara matlab dan perangkat DSK TMS320C6713 untuk menerjemahkan hasil perancangan *simulink* ke perangkat DSK TMS320C6713 agar program *simulink* tersebut dapat dibaca oleh perangkat tersebut.

Program *simulink* yang telah dirancang kemudian dijalankan dan secara otomatis diterjemahkan oleh CCS karena matlab *simulink* telah terhubung dengan CCS dan board DSK TMS320C6713. Selanjutnya perangkat DSK TMS320C6713 akan menjalankan proses ADC, filtering dan DAC yang telah dirancang pada *simulink* matlab.

Jika pengolahan yang dilakukan oleh perangkat telah selesai dijalankan, maka hasil keluaran dapat didengarkan dengan menggunakan *speaker*. Hasil keluaran yang didapatkan merupakan hasil pemfilteran sehingga ketika pendengar mendengarkan melalui *speaker* akan terdengar perbedaan suara sebelum dan sesudah proses filtering. Jika melalui *scope* matlab, hasil keluaran akan menunjukkan perbedaan bentuk sinyal suara sebelum dan sesudah proses filtering.

C. Perancangan Diagram Alir Filter Digital FIR

Perancangan diagram alir juga diperlukan untuk memudahkan dalam perancangan sistem dan membantu proses penelitian agar lebih terstruktur dan mengacu pada tujuan penelitian yang ingin dicapai. Perancangan diagram alir filter digital FIR dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Filter Digital FIR

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 2, proses perancangan filter dilakukan dengan merancang desain filter yang akan digunakan untuk memfilter rekaman suara. Perancangan dilakukan dengan menentukan jenis filter FIR (LPF, BPF, dan HPF), jenis windowing, besar frekuensi *cutoff* dan orde filter. Kemudian setelah filter didesain,

menentukan sinyal masukan yang akan digunakan diantaranya sinyal suara yang berisi rekaman suara yang disimpan dalam format .wav atau sinyal sinusoida. Proses selanjutnya adalah menentukan jenis *noise* dan besar *power noise* yang akan digunakan. Kemudian sinyal suara dapat dimasukkan dan dilakukan proses filtering. Hasil proses filtering ditampilkan pada *scope* pada program Matlab yang telah terhubung dengan DSK TMS320C6713. Jika program telah berhasil dijalankan maka keempat LED pada *board* akan menyala. Hal ini menandakan bahwa di dalam *board* telah berhasil terjadi proses ADC, filtering dan DAC.

Di dalam perancangan desain filter, digunakan tiga buah metode yakni *Hamming*, *Hanning*, dan *Blackman*. Ketiga metode *windowing* ini diuji untuk mengetahui unjuk kerja masing-masing *windowing*. Kinerja masing-masing window ditentukan berdasarkan parameter MSE, SNR dan PSNR. Nilai maksimum attenuasi *stopband* sendiri dirancang untuk dibawah 74 dB. Sehingga yang digunakan adalah window *Hamming*, *Hanning*, dan *Blackman*.

Pemilihan jenis *noise* sendiri yakni *noise* normal dan *noise* gaussian dikarenakan pendekatan yang terdapat pada *build* diagram *simulink* adalah blok diagram *band limited white noise* atau biasa dikenal dengan gaussian *noise*. Karena perancangan akan dihubungkan pada *board* DSK TMS320C6713, yang terhubung melalui *Simulink*, maka digunakan jenis *noise* tersebut agar memudahkan saat proses pengintegrasian *software* dengan perangkat. Selain itu Gaussian *noise* dan *noise* normal sendiri dikarenakan *noise* tersebut pasti terdapat dalam setiap jaringan nirkabel dan memiliki rapat daya yang konstan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian terdiri dari beberapa pengujian, yaitu pengujian masukan *noise* yang berbeda terdiri dari *noise* normal dan *noise gaussian* dan pengaruh ketiga jenis *windowing* yakni *window Hamming*, *Hanning*, dan *Blackman* terdapat sinyal masukan yang berupa rekaman suara. Adapun parameter pengujian terdiri dari MSE, PSNR, dan SNR untuk menentukan kualitas sinyal suara hasil filtering. Pengujian sendiri dilakukan menggunakan beberapa frekuensi *cut off* yang berbeda untuk membandingkan kualitas suara dengan frekuensi *cut off* yang digunakan agar diperoleh hasil yang maksimal.

A. Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai MSE

Pengujian pertama adalah pengujian MSE terhadap sinyal suara. MSE merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas suara. Semakin kecil nilai MSE maka kualitas suara semakin baik.

A.1 Analisis kualitas suara terhadap nilai MSE pada LPF

Pengujian MSE pada LPF dilakukan menggunakan frekuensi *cut off* 1050 Hz, dengan menggunakan enam sampel suara, yakni sampel 1-3 suara pria, dan sampel 4-6 suara wanita.

Tabel 1. Hasil Pengujian Nilai MSE pada noise normal filter *Low-Pass*

Sampel	Noise Normal			
	MSE Asli	MSE Hamming	MSE Hanning	MSE Blackman
1	0.01942	0.01979	0.01972	0.01940
2	0.00427	0.00431	0.00431	0.00427
3	0.00539	0.00543	0.00541	0.00538
4	0.00135	0.00139	0.00138	0.00135
5	0.00312	0.00318	0.00316	0.00312
6	0.00249	0.00254	0.00253	0.00248

Tabel 2. Hasil Pengujian Nilai MSE pada noise Gaussian filter *Low-Pass*

Sampel	Noise Normal			
	MSE Asli	MSE Hamming	MSE Hanning	MSE Blackman
1	0.01941	0.01981	0.01974	0.01941
2	0.00428	0.00431	0.00431	0.00427
3	0.00538	0.00543	0.00542	0.00537
4	0.00135	0.00138	0.00138	0.00135
5	0.00312	0.00319	0.00317	0.00312
6	0.00250	0.00254	0.00254	0.00249

Dari data pada Tabel 1 dan Tabel 2, dapat terlihat jika nilai MSE terkecil terdapat pada sampel 4 yakni suara wanita dan saat menggunakan *noise* Gaussian. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR LPF sendiri menunjukkan jika MSE paling rendah saat menggunakan window Blackman yakni bernilai 0.0013497 dan MSE tertinggi saat menggunakan window Hamming yakni 0.0013839.

A.2. Analisis kualitas suara terhadap nilai MSE pada HPF

Pengujian MSE pada HPF dilakukan menggunakan frekuensi cut off 2500 Hz. Hasil pengujian MSE pada filter high-pass terdapat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian Nilai MSE pada noise normal filter *High-Pass*

Sampel	Noise Normal			
	MSE Asli	MSE Hamming	MSE Hanning	MSE Blackman
1	0.05864	0.05860	0.05861	0.05856
2	0.01418	0.01416	0.01415	0.01415
3	0.01923	0.01919	0.01922	0.01924
4	0.00336	0.00337	0.00337	0.00336
5	0.01111	0.01110	0.01112	0.01110
6	0.00717	0.00717	0.00719	0.00719

Tabel 4. Hasil Pengujian Nilai MSE pada noise Gaussian filter *High-Pass*

Sampel	Noise Gaussian			
	MSE Asli	MSE Hamming	MSE Hanning	MSE Blackman
1	0.05868	0.05864	0.05859	0.05862
2	0.01419	0.01418	0.01414	0.01412
3	0.01922	0.01923	0.01924	0.01925
4	0.00336	0.00338	0.00337	0.00336
5	0.01109	0.01111	0.01110	0.01113
6	0.00718	0.00719	0.00718	0.00718

Dari data pada Tabel 3 dan Tabel 4, terlihat jika nilai MSE terkecil terdapat pada sampel 4 dan saat menggunakan *noise* normal. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR HPF sendiri menunjukkan jika MSE paling rendah saat menggunakan metode window Blackman yakni bernilai 0.0033598 dan MSE tertinggi saat menggunakan window Hamming yakni 0.0033737.

A.3. Analisis Kualitas Suara

Terhadap Nilai MSE pada BPF

Pengujian MSE pada BPF dilakukan menggunakan rentang frekuensi *cut off* 200 Hz hingga 2800 Hz. Hasil pengujian MSE pada filter *high-pass* terdapat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengujian Nilai MSE pada noise normal filter *Band-Pass*

Sampel	Noise Normal			
	MSE Asli	MSE Hamming	MSE Hanning	MSE Blackman
1	0.02240	0.02205	0.02203	0.02204
2	0.00641	0.00579	0.00575	0.00568
3	0.00719	0.00715	0.00717	0.00721
4	0.00156	0.00161	0.00161	0.00163
5	0.00411	0.00417	0.00417	0.00421
6	0.00302	0.00313	0.00316	0.00317

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai MSE pada noise Gaussian filter *Band-Pass*

Sampel	Noise Gaussian			
	MSE Asli	MSE Hamming	MSE Hanning	MSE Blackman
1	0.02240	0.02203	0.02206	0.02205
2	0.00639	0.00579	0.00575	0.00569
3	0.00720	0.00717	0.00716	0.00720
4	0.00156	0.00161	0.00162	0.00162
5	0.00408	0.00416	0.00416	0.00420
6	0.00302	0.00314	0.00315	0.00317

Dari data pada Tabel 5 dan Tabel 6, terlihat jika nilai MSE terkecil terdapat pada sampel 4 dan saat menggunakan *noise gaussian*. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR BPF sendiri menunjukkan jika MSE paling rendah saat tidak menggunakan metode windowing yakni bernilai 0.0015579 dan MSE tertinggi saat menggunakan window Blackman yakni 0.001621.

A.4. Analisis kualitas suara terhadap nilai MSE secara keseluruhan

Secara keseluruhan sampel suara 4 memiliki nilai MSE yang paling rendah, Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan pengaruh nilai MSE terhadap jenis windowing menggunakan 3 jenis filter yakni LPF, HPF, dan BPF.



Gambar 3. Perbandingan nilai MSE pada Sampel 4

Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat jika perbandingan nilai MSE secara keseluruhan paling baik saat menggunakan filter FIR lowpass karena memperoleh nilai MSE yang paling kecil. Sedangkan untuk pengaruh jenis window sendiri MSE terkecil saat menggunakan window Blackman, meskipun pada filter *bandpass* nilai MSE terkecil saat tidak menggunakan metode windowing. Hal ini bisa saja terjadi dikarenakan pengaruh sampel suara yang digunakan terhadap jenis filter dan frekuensi *cutoff* yang digunakan. B. Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai SNR

Pengujian kedua adalah pengujian SNR terhadap sinyal suara. SNR merupakan parameter lain untuk menentukan kualitas suara. Semakin besar nilai SNR maka kualitas suara semakin baik.

B.1 Analisis kualitas suara terhadap nilai SNR pada LPF

Hasil pengujian SNR suara pada filter FIR LPF dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Hasil Pengujian Nilai SNR pada noise normal filter Low-Pass

Sampel	Noise Normal			
	SNR Asli	SNR Hamming	SNR Hanning	SNR Blackman
1	4.7034	4.6198	4.6363	4.7064
2	4.9464	4.908	4.9095	4.947
3	5.3598	5.3265	5.3444	5.3671
4	3.5478	3.4243	3.4591	3.5559
5	5.3671	5.2775	5.3022	5.3596
6	4.2805	4.201	4.2221	4.31

Tabel 8. Hasil Pengujian Nilai SNR pada noise Gaussian filter *Low-Pass*

Sampe l	Noise Gaussian			
	SNR Asli	SNR Hamming	SNR Hanning	SNR Blackman
1	4.7046	4.6168	4.6324	4.7053
2	4.9415	4.9166	4.9118	4.9508
3	5.3637	5.3241	5.3318	5.3718
4	3.5547	3.4467	3.4561	3.5553
5	5.3658	5.2632	5.2924	5.3618
6	4.2727	4.2034	4.2086	4.2824

Dari data pada Tabel 7 dan Tabel 8, menunjukkan jika nilai SNR terbesar terdapat pada sampel 3 dan 5 dan saat menggunakan *noise* normal. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR LPF sendiri menunjukkan jika SNR paling tinggi bernilai 5.3671 saat menggunakan window Blackman pada sampel 3 dan tidak menggunakan metode windowing pada sampel 5.

B.1 Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai SNR pada HPF

Hasil pengujian SNR suara pada filter FIR HPF dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Hasil Pengujian Nilai SNR pada noise normal filter *High-Pass*

Sampel	Noise Normal			
	SNR Asli	SNR Hamming	SNR Hanning	SNR Blackman
1	-0.1021	-0.0994	-0.0988	-0.0958
2	-0.2606	-0.2618	-0.2626	-0.2549
3	-0.1665	-0.1581	-0.1639	-0.1684
4	-0.4226	-0.4264	-0.4190	-0.4434
5	-0.1468	-0.1455	-0.1522	-0.1441
6	-0.3322	-0.3300	-0.3396	-0.3430

Tabel 10. Hasil Pengujian Nilai SNR pada noise Gaussian filter *High-Pass*

Sampel	Noise Gaussian			
	SNR Asli	SNR Hamming	SNR Hanning	SNR Blackman
1	-0.1046	-0.1021	-0.0989	-0.0988
2	-0.2676	-0.2645	-0.2515	-0.2596
3	-0.1650	-0.1674	-0.1682	-0.1708
4	-0.4117	-0.4247	-0.4314	-0.4252
5	-0.1409	-0.1461	-0.1438	-0.1551
6	-0.3360	-0.3405	-0.3355	-0.3375

Pengujian SNR pada filter *highpass* bernilai negatif karena *noise* yang lebih besar dibanding sinyal masukan itu sendiri. Dari data pada Tabel 5, menunjukkan jika nilai SNR terbesar terdapat pada sampel 1 saat menggunakan *noise* normal. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR HPF menunjukkan jika SNR paling tinggi bernilai -0.0958 saat menggunakan window Blackman.

B.2 Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai SNR pada BPF

Hasil pengujian SNR suara pada filter FIR BPF dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil Pengujian Nilai SNR pada noise normal filter *Band-Pass*

Sampel	Noise Normal			
	SNR Asli	SNR Hamming	SNR Hanning	SNR Blackman
1	4.0831	4.1508	4.1545	4.1547
2	3.184	3.6225	3.6571	3.7071
3	4.1095	4.1338	4.1192	4.0978
4	2.9138	2.7923	2.7868	2.744
5	4.1701	4.1056	4.1019	4.0598
6	3.4476	3.2898	3.2582	3.2455

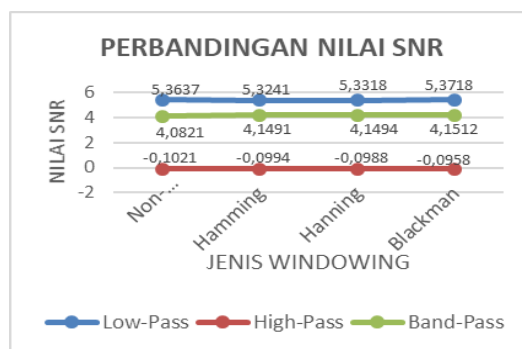
Tabel 12. Hasil Pengujian Nilai SNR pada noise Gaussian filter *Band-Pass*

Sampel	Noise Gaussian			
	SNR Asli	SNR Hamming	SNR Hanning	SNR Blackman
1	4.0821	4.1491	4.1494	4.1512
2	3.1958	3.6258	3.6547	3.6973
3	4.0984	4.1221	4.1246	4.1001
4	2.9324	2.7918	2.7672	2.7598
5	4.1923	4.114	4.1092	4.0684
6	3.4464	3.2778	3.264	3.239

Dari data pada Tabel 11 dan Tabel 12, menunjukkan jika nilai SNR terbesar terdapat pada sampel 5 saat menggunakan *noise gaussian*. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR BPF sendiri menunjukkan jika SNR paling tinggi bernilai 4.1923 saat tidak menggunakan metode windowing.

B.3 Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai SNR Secara Keseluruhan

Secara keseluruhan perbandingan pengaruh nilai SNR terhadap jenis windowing menggunakan 3 jenis filter yakni LPF, HPF, dan BPF dapat dilihat pada grafik Gambar 4. Perbandingan menggunakan sampel dengan nilai SNR terbesar pada setiap jenis filter.



Gambar 4. Perbandingan nilai SNR secara keseluruhan

Gambar 4 menunjukkan jika nilai SNR secara keseluruhan paling baik saat menggunakan filter FIR *lowpass* karena memperoleh nilai SNR yang paling besar. Sedangkan untuk pengaruh jenis window sendiri SNR terbesar saat menggunakan metode window Blackman.

B. Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai PSNR

Pengujian ketiga adalah pengujian PSNR terhadap sinyal suara. PSNR merupakan parameter lainnya yang digunakan untuk menentukan kualitas suara. Semakin besar nilai PSNR maka kualitas suara semakin baik.

C1. Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai PSNR pada LPF

Hasil pengujian PSNR suara pada filter FIR LPF terdapat pada Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 13. Hasil Pengujian Nilai PSNR pada noise normal filter *Low-Pass*

Sampe 1	Noise Normal			
	PSNR Asli	PSNR Hamming	PSNR Hanning	PSNR Blackman
1	17.0503	16.9666	16.9832	17.0533
2	20.4403	20.4019	20.4034	20.4409
3	22.6171	22.5838	22.6017	22.6244
4	19.6102	19.4866	19.5214	19.6183
5	24.575	24.4854	24.5101	24.5675
6	23.1614	23.0819	23.103	23.1909

Tabel 14. Hasil Pengujian Nilai PSNR pada noise Gaussian filter *Low-Pass*

Sampe l	Noise Gaussian			
	PSNR Asli	PSNR Hammin g	PSNR Hanning	PSNR Blackma n
1	17.0515	16.9637	16.9793	17.0522
2	20.4353	20.4105	20.4057	20.4447
3	22.621	22.5814	22.5891	22.6291
4	19.6171	19.5091	19.5185	19.6177
5	24.5737	24.4711	24.5003	24.5697
6	23.1536	23.0843	23.0895	23.1633

Tabel 13 dan Tabel 14 menunjukkan jika nilai PSNR terbesar terdapat pada sampel 5 saat menggunakan *noise* normal. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR LPF sendiri menunjukkan jika PSNR paling tinggi bernilai 24.575 saat tidak menggunakan metode windowing

C2. Analisis kualitas suara terhadap nilai PSNR pada HPF

Hasil pengujian PSNR suara pada filter FIR HPF terdapat pada Tabel 15 dan Tabel 16.

Tabel 15. Hasil Pengujian Nilai PSNR pada noise normal filter *High-Pass*

Sampel	Noise Normal			
	PSNR Asli	PSNR Hamming	PSNR Hanning	PSNR Blackman
1	14.5259	14.6889	14.6973	14.8081
2	16.8852	16.9924	16.9965	17.0688
3	18.9583	19.0268	19.0221	19.1183
4	16.4823	16.4263	16.4092	16.4663
5	20.5606	20.5201	20.5151	20.5955
6	20.1075	20.07	20.0614	20.1209

Tabel 16. Hasil Pengujian Nilai PSNR pada noise Gaussian filter *High-Pass*

Sampe l	Noise Gaussian			
	PSNR Asli	PSNR Hammin g	PSNR Hanning	PSNR Blackman
1	14.5241	14.6867	14.6952	14.7939
2	16.8839	16.9936	17.0014	17.0661
3	18.9634	19.023	19.0322	19.1125
4	16.4732	16.3822	16.4096	16.4897
5	20.5615	20.5222	20.5159	20.5974
6	20.1076	20.0796	20.0566	20.1159

Berdasarkan data pada Tabel 15 dan Tabel 16, menunjukkan jika nilai PSNR terbesar terdapat pada sampel 5 saat menggunakan *noise* gaussian. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR HPF sendiri menunjukkan jika PSNR paling tinggi bernilai 20.5974 saat tidak menggunakan window Blackman.

C3. Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai PSNR pada BPF

Hasil pengujian PSNR suara pada filter FIR BPF terdapat pada Tabel 17 dan Tabel 18.

Tabel 17. Hasil Pengujian Nilai PSNR pada noise normal filter *Band-Pass*

Sampe l	Noise Normal			
	PSNR Asli	PSNR Hamming	PSNR Hanning	PSNR Blackman
1	16.43	16.4977	16.5014	16.5016
2	18.6779	19.1164	19.151	19.201
3	21.3668	21.3911	21.3765	21.3551
4	18.9762	18.8546	18.8491	18.8064
5	23.378	23.3135	23.3098	23.2677
6	22.3285	22.1707	22.1391	22.1264

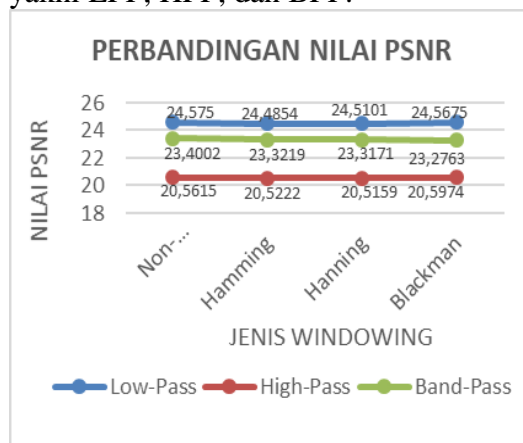
Tabel 18. Hasil Pengujian Nilai PSNR pada noise Gaussian filter *Band-Pass*

Sampel	Noise Gaussian			
	PSNR Asli	PSNR Hamming	PSNR Hanning	PSNR Blackman
1	16.429	16.5013	16.4963	16.4981
2	18.6897	19.1197	19.1486	19.1912
3	21.3557	21.3794	21.3819	21.3574
4	18.9948	18.8541	18.8295	18.8221
5	23.4002	23.3219	23.3171	23.2763
6	22.3274	22.1587	22.1449	22.1199

Dari data pada Tabel 17 dan Tabel 18, menunjukkan jika nilai PSNR terbesar terdapat pada sampel 5 saat menggunakan *noise* gaussian. Adapun pengaruh windowing terhadap filter FIR BPF sendiri menunjukkan jika PSNR paling tinggi bernilai 23.4002 saat tidak menggunakan metode windowing.

C4. Analisis Kualitas Suara Terhadap Nilai PSNR Secara Keseluruhan

Secara keseluruhan sampel suara 5 memiliki nilai PSNR yang paling tinggi dibanding sampel suara lainnya. Gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan pengaruh nilai PSNR terhadap jenis windowing menggunakan 3 jenis filter yakni LPF, HPF, dan BPF.



Gambar 5. Perbandingan nilai PSNR secara keseluruhan

Gambar 5 menunjukkan jika nilai PSNR secara keseluruhan paling baik saat menggunakan filter FIR *lowpass* karena memperoleh nilai PSNR yang paling besar. Sedangkan untuk pengaruh jenis window sendiri PSNR terbesar saat menggunakan metode window Blackman (*highpass*) dan tanpa menggunakan metode windowing (pada filter *lowpass* dan *bandpass*).

KESIMPULAN

Berdasarkan proses implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada *Low-Pass* Filter, nilai MSE paling kecil saat menggunakan window Blackman dan *noise* normal yakni bernilai 0.0013495 yang terdapat pada sampel 4 suara wanita. Nilai SNR dan PSNR paling baik terdapat pada sampel 5 suara wanita, dimana saat menggunakan *noise* normal dan tanpa metode windowing dengan nilai SNR 5.3671 dan nilai PSNR 24.575.
2. Pada *High-Pass* Filter, nilai MSE paling baik saat menggunakan window Blackman dan *noise* gaussian yakni 0.0027736 yang terdapat pada sampel 4 suara wanita. Nilai SNR paling baik terdapat pada sampel 1 suara pria, dimana saat menggunakan *noise* normal dan tanpa metode windowing dengan nilai SNR -0.095798 dan untuk nilai PSNR tertinggi terdapat pada sampel 5 suara wanita dengan menggunakan *noise* gaussian dan window Blackman yaitu 20.5974.
3. Pada *High-Pass* filter SNR bernilai negatif dikarenakan *noise* lebih besar dibandingkan respon sinyal itu sendiri.
4. Pada *Band-Pass* Filter, nilai MSE paling kecil saat tidak menggunakan

metode windowing dan *noise gaussian* yakni 0.0015579 yang terdapat pada sampel 4 suara wanita. Nilai SNR dan PSNR yang paling tinggi adalah saat tidak menggunakan metode windowing dan *noise gaussian* yakni sekitar 4.1923 untuk nilai SNR dan 23.4002 untuk nilai PSNR

5. Secara umum dari hasil pengujian unjuk kerja windowing yang paling baik adalah window Blackman dibandingkan jenis windowing yang lain. Dan window Hamming merupakan window yang paling buruk hasilnya.
6. Jika dibandingkan ketiga tipe filter, pada pengujian ini diperoleh hasil filter yang paling baik ialah FIR *Low-Pass* karena menghasilkan nilai MSE yang paling kecil serta nilai SNR dan PSNR yang paling besar dibandingkan filter lainnya. Meskipun secara teori dikatakan jika FIR *Band-Pass* paling sesuai dengan sinyal suara, namun hasil pengujian tidak demikian. Ketidaksesuaian dengan teori ini disebabkan oleh respon impuls sinyal *input* yakni rekaman suara tunggal dalam keadaan sunyi berada pada frekuensi rendah yakni antara 0-1500 Hz, sehingga filter yang paling sesuai untuk informasi suara yang ada pada pengujian ini adalah filter FIR *Low-Pass*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pawar, Ritesh. "Design and Performance Analysis of FIR Filter for Audio Application" dalam *Proc. The International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 2014, hlm. 122-126.
- [2] Gupta, Sonika. 2012. "Performance Analysis of FIR Filter Design by Using Rectangular, Hanning and Hamming Windows Methods". *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 2, hlm. 273-277.
- [3] Irmawan. 2014. Perancangan dan Simulasi Low Pass Finite Impulse Response dengan Metode Windowing. Disertasi Doktor. Palembang: Universitas Sriwijaya, hlm. 1-10.
- [4] Lidyawati, Lita. 2016. "Implementasi Filter *Finite Impulse Response* (FIR) Window Hamming dan Blackman Menggunakan DSK TMS320C6713". *Jurnal ELKOMIKA*, Vol. 4 (1), hlm 16-30.
- [5] Moonarsih, Nielcy. 2010. "Desain dan Simulasi Filter FIR Menggunakan Metode Windowing" *Jurnal ELKHA*, Vol. 2 (1), hlm. 41-47.
- [6] Shukla, Shika; Pandey, Kamal Prakash. 2015. "Implementation and Simulation of Low Pass Finite Impulse Response Filter Using Different Window Method" *IJETAE Exploring Research And Innovation*, Vol. 5 (1), hlm. 88-93.
- [7] Nurmallasari, Revi Noviananda. 2016. *Perancangan Filter Digital Finite Impulse Respon Untuk Pengukuran Fidelitas Suara*. Tugas Akhir. Jakarta: Usakti.
- [8] Lyons, Richard G. 2010. *Understanding Digital Signal Processing*. Edisi Ketiga. New Jersey: Prentice Hall PTR.

